

RTU  
ZINĀTNISKIE  
RAKSTI

SCIENTIFIC  
PROCEEDINGS  
OF RIGA  
TECHNICAL  
UNIVERSITY



# M AŠĪNzinātne UN TRANSPORTS

T R A N S P O R T   A N D  
E N G I N E E R I N G

SĒRIJA 6

SĒJUMS 25

RĪGA 2007



## CONTENTS

<b>Preface</b> .....	3
Popovs V. <i>Mathematical model of vhf wave propagation in woodlands</i> .....	8
Ivanov I. A., Urushev S.V., Vorobyev A. A. <i>The problem of application of the railway wheels with the rised hardnes of the rim metal</i> .....	13
Kononov D. P., Shadrina N.U. <i>Standardization and certification on a railway transport in russian federation</i> .....	24
Stadkowski A. Młyńczak J. <i>The stress analysis in the interacting parts of the railway switch</i> .....	30
Sergeyeva L. <i>Mode of current and level of voltage selection for railway electric traction systems</i> .....	38
Skvireckas R., Bazaras Z., Marksaitis D. <i>Investigation of vibrations of wagon measurer</i> .....	44
Raudys R., Bazaras Z., Marksaitis D. <i>Internal combustion engine adaptation for alternative fuel</i> .....	51
Vasauskas V., Bazaras Z., CapasV. <i>Mechanical properties anisotropy of railway wheels</i> .....	56
Grislis A., Liberts G. <i>Overtaking of road vehicle combinations</i> .....	65
Grislis A., Liberts G. <i>Haulage of divisible cargos with long vehicle combinations</i> .....	75
Balckars P., Lubinskis V. <i>Estimation of efficiency of public railway transport</i> .....	84
Vaičiūnas G., Lingaitis L.P. <i>Investigating the dynamics of motor-rail car elements</i> .....	93
Vaičiūnas G., Lingaitis L.P. <i>The analysis of deterioration of passenger and freight locomotives</i> .....	99
Petrenko V., Jursenas V. <i>Solving problems of traction rolling stock exploitation level estimation</i> .....	104
Bučinskas V., Subačius R., Mokšin V. <i>Tendencies of locomotive engine lubricant quality change during exploitation period</i> .....	112
Bureika G., Glėbus S., Juršėnas V. <i>Compatibility of calculating methods of rolling-stock brakes</i> .....	121

# ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ДЕТАЛЯХ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА

A. Śladkowski, J. Młyńczak

*Ключевые слова: стрелочный замыкатель, напряженное состояние, метод конечных элементов*

## ВВЕДЕНИЕ

От надежной работы стрелочных переводов во многом зависит безопасность движения поездов. Для обеспечения таковой в стрелочных переводах новых типов используются стрелочные замыкатели. Они обеспечивают прилегание и удержание остряка, прижатого к рамному рельсу [1]. В процессе эксплуатации рабочие поверхности деталей подвергаются износу. Может быть также ослаблено крепление деталей. Указанные факты могут привести к неправильной работе стрелочного перевода в целом. Однако контроль состояния стрелочных переводов в эксплуатационных условиях является достаточно сложным. Сигнализировать о неправильности функционирования стрелки может повешенный уровень силы, необходимой для передвижения остряков. Такая сила может измеряться непосредственно на ведущей штанге, в местах штифтовых соединений при помощи специальных измерительных штифтов или непосредственно между остряком и рамным рельсом при помощи специальных измерительных приборов [2].

К сожалению, нет однозначного подхода к тому, какой показатель измеряемой силы является критическим. В работе [3] утверждается, что для перевода остряков в хорошо содержащемся стрелочном переводе достаточно силы 500 – 800 Н. При этом в работе [4] указываются более высокие уровни сил, которые имеют место в стрелочных переводах (1500 – 2500 Н). Очевидно, что данные уровни сил являются ориентировочными. При этом вторые данные являются более соответствующими реальным условиям эксплуатации. Очевидно, что величина сил, необходимых для перемещения остряков, зависит от типа и конструкции остряков, загрязнения и качества смазки соединений, температуры и пр. Данные силы зависят также от сопротивления перемещению, которое имеет место при взаимодействии деталей стрелочных замыкателей, и что, в конечном счете, сигнализирует о состоянии рассматриваемого механизма.

В предлагаемой статье было проведено моделирование контактного взаимодействия деталей стрелочного замыкателя. Исследовано влияние износа на величину силы, необходимой для перемещения ведущих штанг.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ СТРЕЛОЧНОГО ЗАМЫКАТЕЛЯ

В стрелочных переводах типов S60 и S49 применены замыкатели ползунного типа. Вследствие того, что основные части стрелочных переводов имеют существенно отличающиеся размеры, только часть деталей замыкателей имеет унифицированные размеры.

На рис. 1 представлена геометрическая модель замыкателя к стрелочному переводу типа S49, который является одним из наиболее распространенных в Польше.

Стрелочный замыкатель ползунного типа, также как и его аналоги других типов, размещается в зоне вершины остряка между второй и третьей шпалами подрельсового основания, считая от стыка, предшествующего стрелочному переводу.

Переводной механизм стрелок указанных типов содержит по 2 узла стрелочных замыкателей. Каждый узел стрелочного замыкателя состоит из трех основных частей:

- кляммера, который крепится к остряку;
- ведущей штанги;
- скобообразного корпуса, который является направляющей.

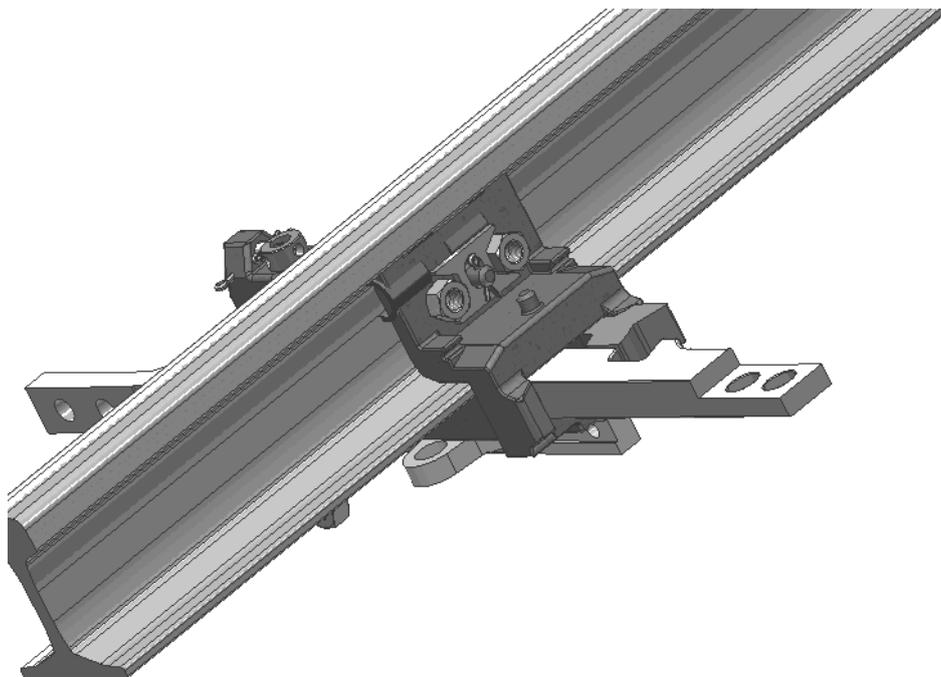


Рис. 1. Геометрическая модель стрелочного замыкателя, выполненная в программе Autodesk Inventor

Для указанных выше основных деталей стрелочного замыкателя было проведено геометрическое моделирование, и они показаны на рис. 2.

Кляммер является одним из важнейших деталей стрелочного замыкателя. С одной стороны он соединен с остряком. С его другой стороны выполняется так называемый «ласточкин хвост», который отвечает за правильность работы целого механизма. Задачей ведущей штанги является зацепление с кляммером и перемещение его в направлении скобообразного корпуса или противоположном. С этой целью в штанге выполняется вырез, форма которого соответствует «ласточкиному хвосту» кляммера. Скобообразный корпус является важной частью стрелочного замыкателя, который выполняет функцию направляющей для ведущей штанги и кляммера. Правильное взаимодействие этих трех основных частей замыкателя отвечает за блокирование остряка в прижатом к рамному рельсу положении или, наоборот, за перевод стрелки в противоположное положение.

С учетом сказанного, положение скобообразного корпуса относительно штанги и кляммера является фактором, определяющим работоспособность всего механизма. Если в течение длительного времени эксплуатации положение скобообразного корпуса относительно взаимодействующих деталей изменится, либо указанные детали будут иметь значительный износ рабочих поверхностей вследствие трения элементов внутри

направляющей, то весь механизм стрелочного перевода может работать нештатно. Для того чтобы положение скобообразного корпуса было неизменным, указанная деталь крепится к шейке рамного рельса при помощи болтового соединения. При этом, как показано на рис. 1, гайки расположены с внешней стороны рельсового пути.

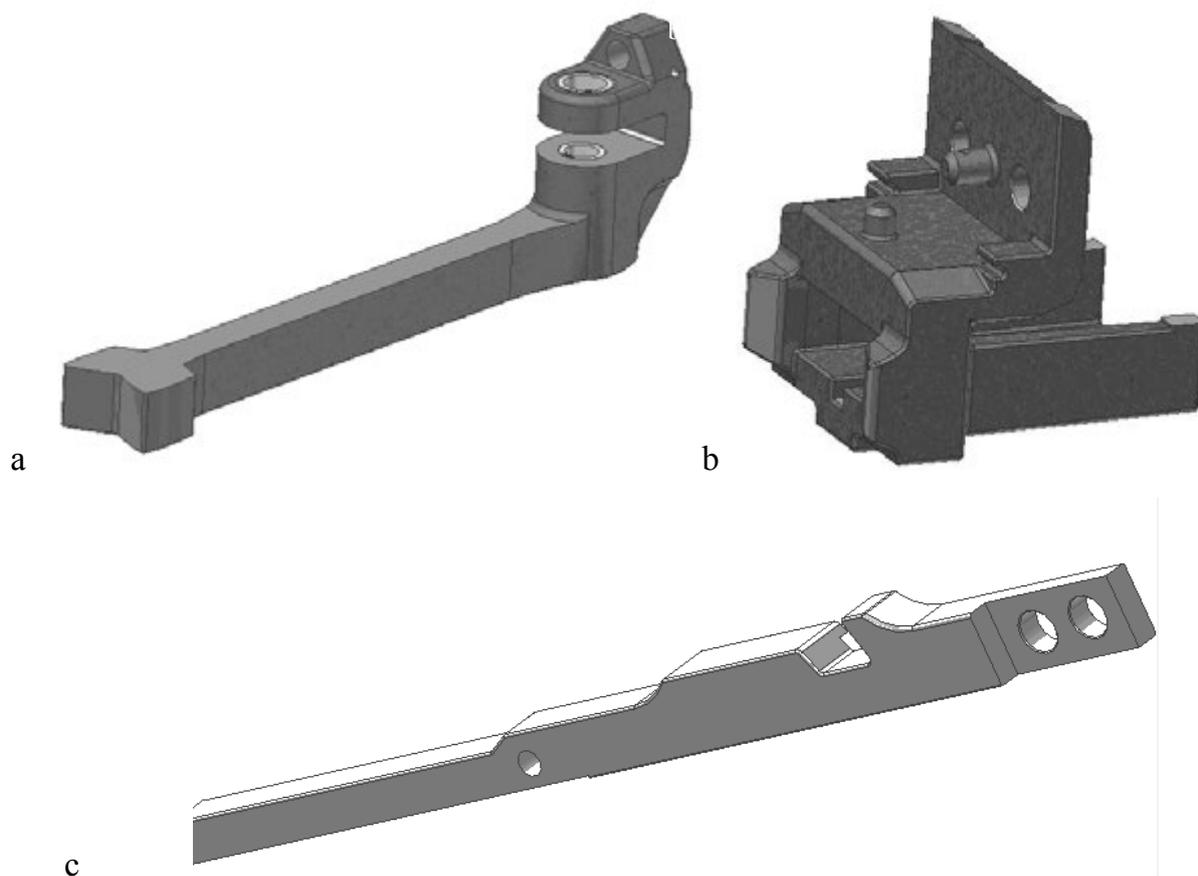


Рис. 2. Составные части замыкателя стрелочного перевода: а) кляммер; б) скобообразный корпус (направляющая); с) ведущая штанга (ползун)

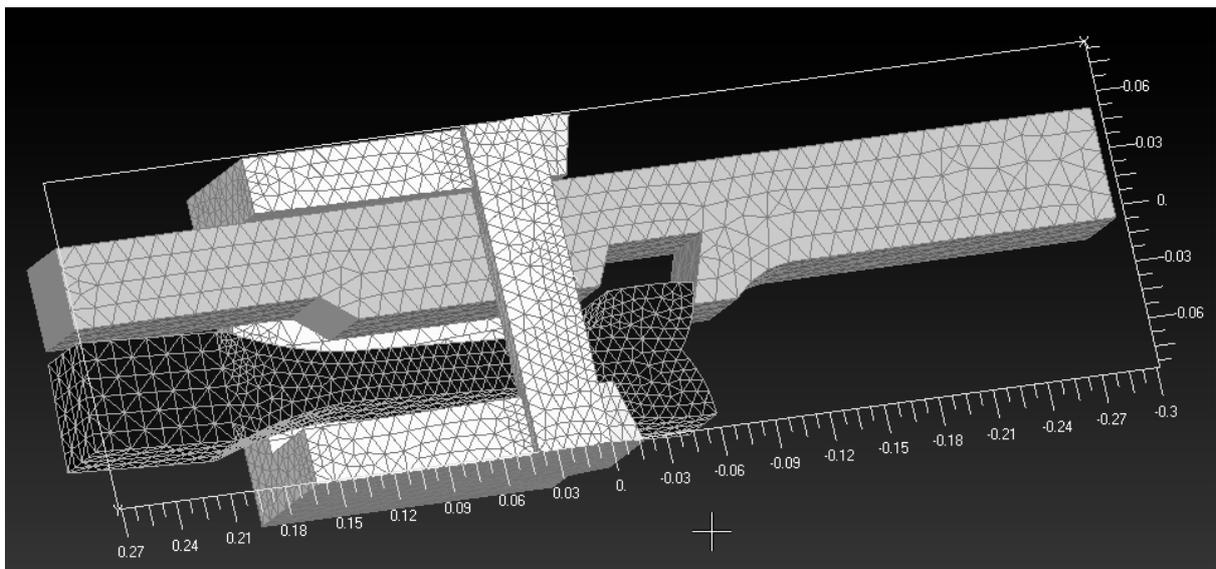
Кляммеры шарнирно соединены с основаниями остряков и во время перемещения ведущей штанги могут свободно отклоняться в боковую сторону, не мешая передвижению штанги.

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ

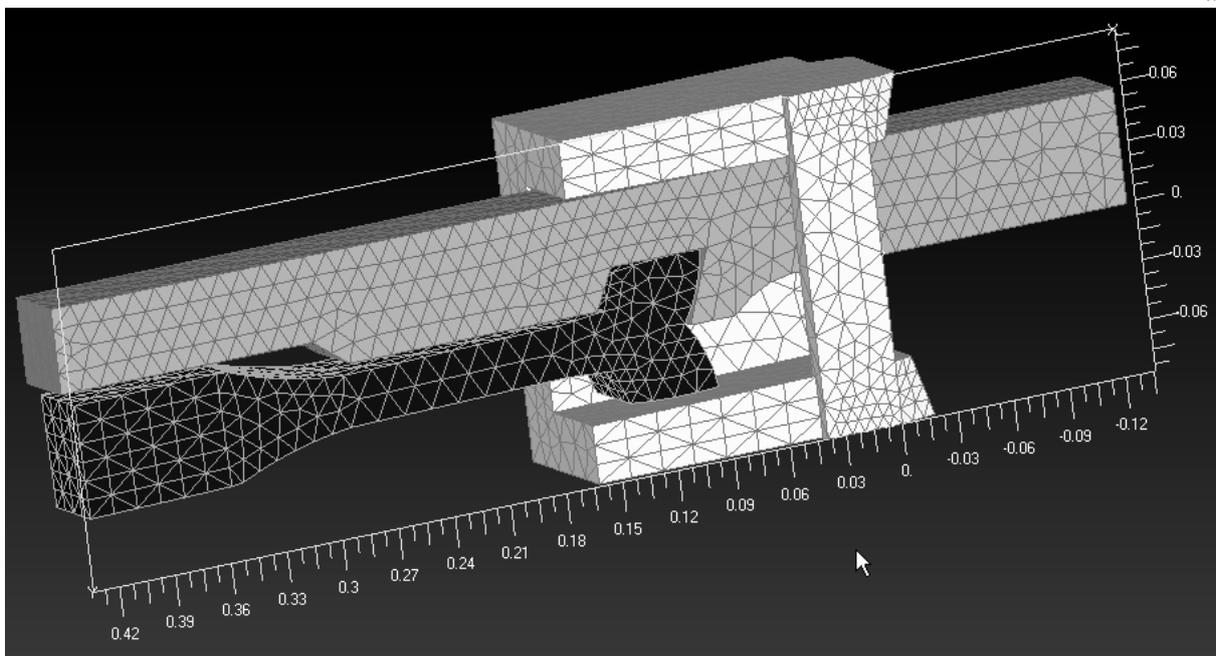
На основе проведенного геометрического моделирования создавались конечно – элементные модели взаимодействующих тел. Для генерации КЭ сеток использовались стандартные генераторы, являющиеся составной частью пакета MSC.NASTRAN for Windows [5]. Вследствие того, что наибольший интерес представляло непосредственное взаимодействие ведущих штанг, кляммеров и скобообразных корпусов, были введены определенные упрощения расчетных схем и моделей взаимодействующих тел. Например, часть кляммеров, при помощи которых последние крепятся к острякам, находится относительно далеко от рассматриваемой зоны контакта и поэтому не принималась во внимание. Аналогично, части скобообразных корпусов, при помощи которых последние крепятся к рамным рельсам, также не рассматривались.

На рис. 3 показаны КЭ дискретизации рассматриваемых трех взаимодействующих деталей для двух положений переводного механизма. Первое положение (рис. 3а) соответствует тому моменту при движении ведущей штанги влево, когда выступ штанги входит в зацепление с кляммером, освобождая последний. От этого момента начинается движение кляммера влево с одновременным его поворотом. Такое движение приводит к тому, что первоначально прижатый к рамному рельсу острок освобождается.

Второе положение (рис. 3б) соответствует крайнему левому положению штанги при ее движении влево. Для данного положения «ласточкин хвост» кляммера находится внутри соответствующего выреза штанги, а острок отведен от рамного рельса на максимальное расстояние.



а



б

Рис. 3. Конечно – элементная дискретизация деталей: а) начало движения кляммера влево с одновременным освобождением острюга; б) конечное положение

При выполнении КЭ дискретизации были проведены также технические упрощения геометрических моделей. В частности, не рассматривались некоторые фаски, скругления и пр. Конечные элементы рассматриваемых трех деталей были объединены в группы. Контроль правильности такого объединения выполнялся при помощи изменения цветов элементов в конкретных группах, благодаря чему на рис. 3 можно легко определить конечные элементы рассматриваемых объектов.

В дальнейшем созданные КЭ модели экспортировались из пакета MSC.NASTRAN for Windows и вчитывались пакетом MSC.MARC [6]. Дальнейший анализ проводился уже при помощи указанного выше пакета. Его преимуществом является мощный математический аппарат, предназначенный для решения сильно нелинейных задач механики, к которым относятся контактные задачи. Созданные ранее группы конечных элементов объявлялись контактными телами. Для них задавались механические свойства, такие, как упругие характеристики, коэффициенты трения. Граничные условия также задавались в программе MSC.MARC. Здесь в качестве граничного условия задавалось перемещение ведущей штанги в соответствии с реальными условиями эксплуатации.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОГО И ИЗНОШЕННОГО СТРЕЛОЧНОГО ЗАМЫКАТЕЛЯ

Первоначально был проведен анализ работы нового механизма. На рис. 4 приведено распределение эквивалентных напряжений по теории Губера – Мизеса – Генки (далее указанные напряжения будем просто называть эквивалентными напряжениями).

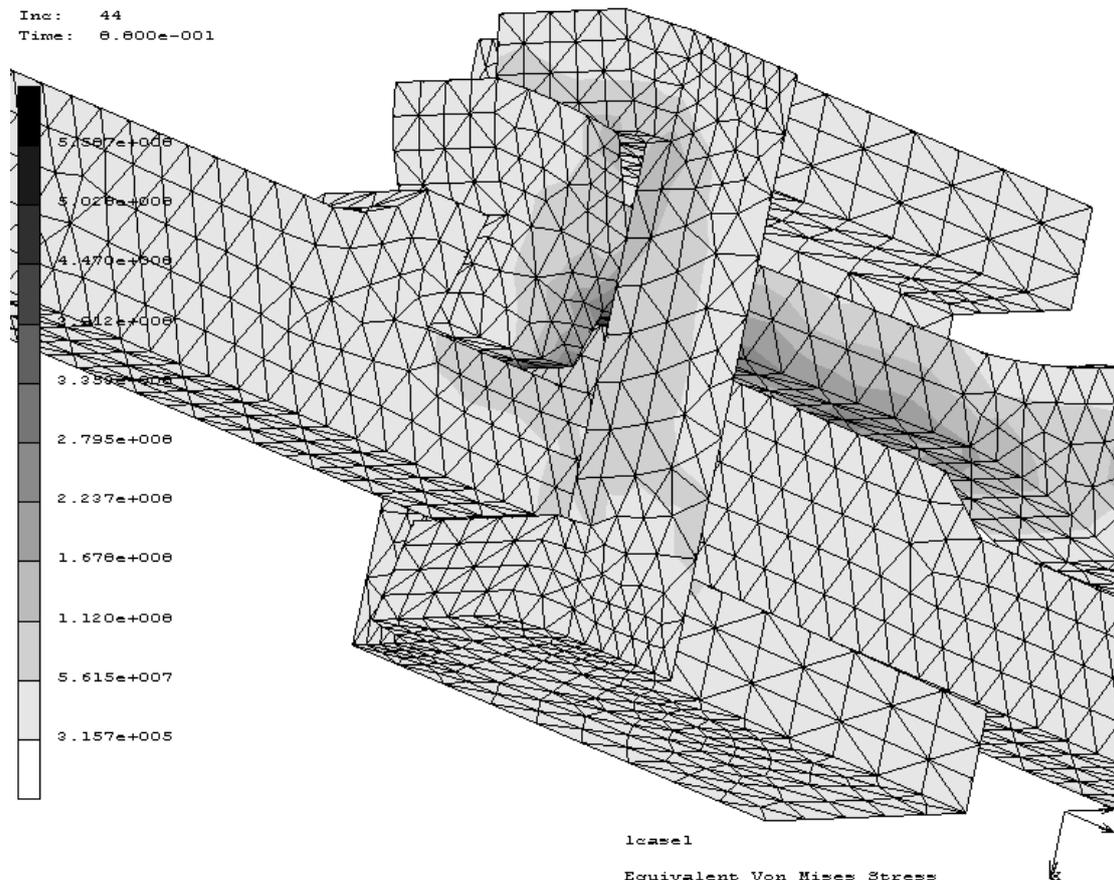


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений для нового стрелочного замыкателя

На данном рисунке рассматривается одно из промежуточных положений механизма. При движении ведущей штанги влево (рис. 3) наибольшие напряжения появляются в кляммере в месте контакта с поверхностью штанги в начальной стадии движения. Их максимальный уровень достигает 60 МПа, что значительно меньше предела пластичности для рассматриваемых материалов. В остальных частях кляммера напряжения меньше, порядка 30 МПа. При этом другие взаимодействующие детали нагружены еще менее. Например, за исключением контактной области, напряжения в ведущей штанге не превышают 10 МПа.

В задаче задавались перемещения ведущей штанги. Очевидно, что в узлах, в которых задавались перемещения, возникают реакции, обусловленные сопротивлением механизма такому перемещению. Такие реакции обусловлены, прежде всего, трением взаимодействующих деталей. Суммарная сила, необходимая для осуществления перемещения ведущей штанги, составляет 1,4 кН.

При рассмотрении движения в обратном направлении полученные напряжения были подобны приведенным выше. При таком движении также наиболее нагруженной деталью является кляммер. Ведущая штанга и скобообразный корпус нагружены менее. Несколько изменяется характер напряженного состояния. Помимо напряжений в зоне контакта кляммер – штанга появляются также повышенные напряжения в месте контакта кляммера и корпуса. Тем не менее наибольшими напряжениями по-прежнему остаются напряжения в кляммере, где их максимальный уровень достигает 150 МПа в месте контакта рабочей поверхности «ласточки хвоста». Наибольший интерес представляло моделирование силы, необходимой для вытягивания ведущей штанги с одновременным прижатием острья к рамному рельсу. Сила, необходимая для такого движения, возросла до 4,2 кН.

Экспериментально измеренные геометрические размеры изношенных деталей стрелочного замыкателя использовались для создания геометрических моделей указанных деталей. В соответствии с таким подходом, «изношенная геометрия» послужила основой для генерации КЭ сеток, которые были такими же, как для новых деталей по количеству узлов, однако сгенерированные узлы уже учитывали различие новой и изношенной геометрии.

На рис. 5 приведено распределение эквивалентных напряжений для одного из положений изношенного кляммера. Может показаться парадоксальным, что при изношенных поверхностях и относительно больших зазорах величина напряжений для изношенных деталей возрастает до 190 МПа, что имеет место в зоне контакта кляммера с ведущей штангой. Но этот факт не будет казаться парадоксальным, если учесть, что для изношенного механизма возрастает и сила, необходимая для движения ведущей штанги. В частности, было определено, что максимально такая сила составляет 5,2 кН. Указанные факты подтверждаются результатами экспериментальных исследований [2].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования напряженного состояния элементов стрелочного замыкателя для различных положений нового и изношенного механизма. При помощи МКЭ определены распределения эквивалентных и контактных напряжений, а также исследована величина силы, необходимой для работы ведущей штанги. Определено, что напряжения для различных положений механизма относительно невелики и не превышают допустимых. Сила, необходимая для работы нового механизма, существенно меньше по сравнению с изношенным механизмом. Для последнего сила возрастает и, соответственно, при значительных износах может привести к отказам в его работе.

Рассмотренные модели могут быть использованы для анализа других возможных в эксплуатации ситуаций, например, погрешностей монтажа деталей, влияния погодных условий вследствие термических деформаций и т.п.

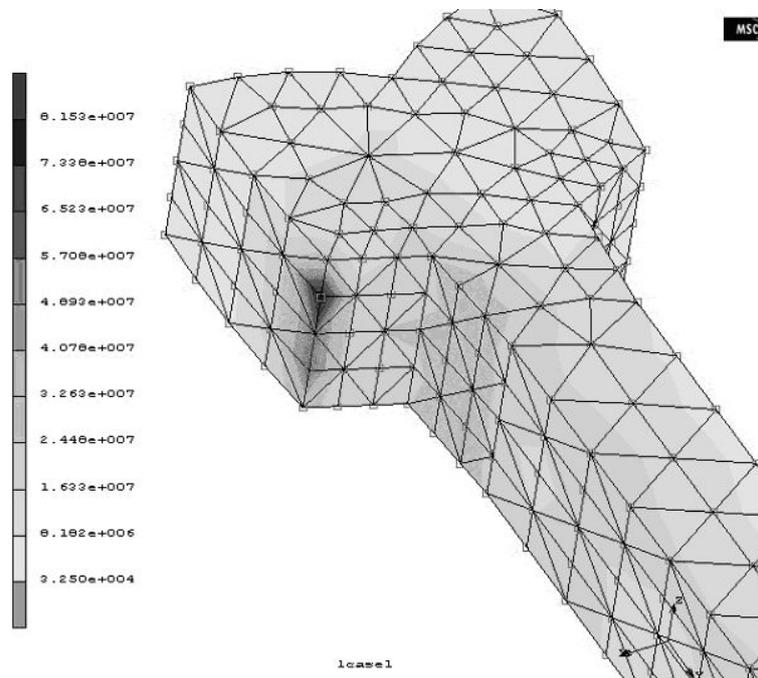


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений для изношенного кляммера

#### LITERATURE

1. Łączyński J. *Rozjazdy kolejowe*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1976.
2. Mikulski J., Śladkowski A., Młyńczak J. *Direct methods of measuring setting forces on electric point machines*. Signal + Draft. 2005. № 4. P. 35 – 37.
3. *Wybrane problemy mechaniki rozjazdu kolejowego*. Wyd. WAT, Warszawa, 2001.
4. Biuletyn Polskich Kolei Państwowych D – 6. *Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów*. PKP, 1996.
5. MSC/NASTRAN. *Quick reference guide V69*. Wyd. MSC Software Corporation, 2002.
6. MSC.MARC. *Theory and user information. Część A*. Wyd. MSC Software Corporation, 2001.

**Aleksander Śladkowski**, Silesian Technical University, Faculty of Transport, Krasińskiego str., 8, Katowice, 40-019, Poland, full profesor, Ph.D., D.Sc., aleksander.sladkowski@polsl.pl

**Jakub Młyńczak**, Silesian Technical University, Faculty of Transport, Krasińskiego str., 8, Katowice, 40-019, Poland, assoc. profesor, D.Sc., jakub.mlynczak@polsl.pl

*Сладковский А., Млыньчак Я. Исследование напряжений во взаимодействующих деталях стрелочного перевода*

*В статье представлены результаты конечно-элементного моделирования работы взаимодействующих деталей замыкателя переводного механизма стрелочного перевода. Исследовались напряжения, которые возникают в новом и изношенном замыкателе. Для создания численной модели использовались чертежи деталей замыкателя, предоставленные производителями переводного механизма. Модель изношенного замыкателя была выполнена на основе замеров геометрии 8 скобообразных корпусов и кляммеров, а также 3 ведущих штанг. Аналогично проводились замеры для новых замыкателей. Определены величины сил, необходимых для перемещения ведущей штанги механизма.*

*Śladkowski A. Młyńczak J. The stress analysis in the interacting parts of the railway switch*

*The results of the finite element modeling which appeared in clamp lock elements during the work of the switch were presented in the article. The stresses appeared in new and worn clamp locks were analyzed. To perform the numerical model were used technical drawings of the parts of the interlock made available by the mechanism producer. The used up interlock model was performed on the basis of geometric measurement results of 8 bodies of the lock and clamps and also of 3 setting rods. Similarly in case of the new interlock. The setting forces needs to rod displacement were determined.*